



DOI: 10.29298/rmcf.v13i71.1191

Artículo de Investigación

Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas

Diversity and structure of shadow trees associated with *Coffea arabica* L. in Soconusco, Chiapas

Jorge Reyes Reyes^{1,2}, Juan Alberto Rodríguez Morales¹, Dorian de Jesús Pimienta de la Torre^{2,1}, Mario Alonso Fuentes Pérez³, Pablo Marroquín Morales¹, Agustín Merino García², Juan Francisco Aguirre Medina^{1*}

Abstract

The traditional systems in the coffee (*Coffea arabica*) producing areas develop in shady ecosystems with a wide diversity of flora and fauna species. At present, the original floristic composition has been modified by changes in the establishment of a species *Inga* spp. Therefore, the importance of knowing the diversity and current tree structure of the agroforestry system in coffee cultivation in *Soconusco*, state of *Chiapas* arises. For this aim, 10 sampling units (SU) were randomly established in the middle region of *Soconusco Chiapas*, with dimensions of 1 000 m² (20 m x 50 m). Variables were recorded to identify their vertical and horizontal stratification, and importance value indexes (IVI), tree species diversity, Shannon-Wiener and Simpson were calculated. 23 tree species were found out of a population of 279 trees and the plantations with the highest chronological age present greater diversity and tree structure. The observed vegetation presents the lower strata ranging from <9 m and upper > 18 m. The species with the greatest presence in the SUs were *Tabebuia donnell smithii*, *Inga micheliana*, *Cordia alliodora* and *Cedrela odorata* and, according to the Simpson and Shannon diversity indexes, the vegetation that prevails has little tree species diversity. The highest importance value index came from *Tabebuia donnell smithii* and *Inga micheliana*.

Key words: Shadow trees, biodiversity, structure, diversity indices, *Inga* spp., agroforestry systems.

Resumen

Los sistemas tradicionales en las zonas productoras de café (*Coffea arabica*) se desarrollan en ecosistemas bajo sombra, con amplia diversidad de especies de flora y fauna. En la actualidad, la composición florística original se ha modificado por cambios en el establecimiento de *Inga* spp. Por lo anterior, surge la importancia de conocer la diversidad y estructura arbórea actual del sistema agroforestal en el cultivo de café en el Soconusco, Chiapas. Para tal fin se establecieron 10 unidades de muestreo (UM) al azar en la región media del Soconusco Chiapas; con dimensiones de 1 000 m² (20 x 50 m). Se registraron variables para identificar su estratificación vertical y horizontal, y se calcularon los Índices de valor de importancia (IVI), diversidad de especies arbóreas, *Shannon-Wiener* y *Simpson*. Se identificaron 23 especies arbóreas de una población de 279 árboles; a las plantaciones con mayor edad cronológica les correspondió mayor diversidad y estructura arbórea. La vegetación observada presentó estratos inferiores de <9 m y los superiores de >18 m. Los taxones con más presencia en las UM fueron *Tabebuia donnell smithii*, *Inga micheliana*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata*. De acuerdo con los índices de diversidad de *Simpson* y *Shannon-Wiener*, la vegetación prevaleciente tiene poca diversidad de especies arbóreas. El mayor Índice de Valor de importancia se registró en *Tabebuia donnell smithii* e *Inga micheliana*.

Palabras clave: Árboles de sombra, biodiversidad, estructura, índices de diversidad, *Inga* spp., sistemas agroforestales.

Fecha de recepción/Reception date: 23 de julio de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de marzo de 2022.

¹Cuerpo Académico en Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas. México.

²Escuela de Doctorado Internacional, Universidad de Santiago de Compostela. España.

³Escuela de Ciencias y Procesos Agropecuarios Industriales, Universidad Autónoma de Chiapas. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: juan.aguirre@unach.mx

Introducción

En México existe una amplia diversidad de sistemas agroforestales (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2016), los cuales se consideran una alternativa para favorecer la captación de agua (López *et al.*, 2013), conservar el suelo (Pérez-Nieto *et al.*, 2012), mejorar su fertilidad (Geissert *et al.*, 2017), regular el microclima (Villavicencio, 2013), proteger y conservar la biodiversidad (Moguel y Toledo, 2004), así como facilitar el manejo de plagas y enfermedades (Pérez-Fernández *et al.*, 2016). Además, la cobertura arbórea genera beneficios ambientales (Aguirre-Cadena *et al.*, 2016) como la captura de carbono (Salgado-Mora *et al.*, 2018), que aporta a la mitigación del cambio climático, y en el caso del sistema *Coffea arabica* L. se mejora la calidad del grano (Farfán, 2014).

La producción de café en México se realiza de forma tradicional, bajo el dosel de una vegetación compleja, diversa en estratos y especies similar al bosque natural (García-Mayoral *et al.*, 2015). Son ecosistemas ricos en flora y fauna (Moguel y Toledo, 2004), en los que se consigna la presencia de frutales, maderables y otras especies multipropósitos como sombra; además de utilizarlas con fines medicinales y para la obtención de leña (Reyes-Reyes y López-Upton, 2003). Las especies están asociadas en arreglo espacial y cronológico (Sáenz-Reyes *et al.*, 2010; Casanova-Lugo *et al.*, 2016) e inducen interacciones ecológicas y económicas de manera simultánea o temporal de modo secuencial (Somarriba y Beer, 1999; Krishnamurthy y Ávila, 1999), además son compatibles con las condiciones socioculturales de la región y benefician a sus formas de vida.

En la actualidad, la diversidad biológica de los taxones de sombra de los cafetales ha disminuido considerablemente, ya que se ha generalizado la recomendación de establecer sombra monoespecífica con taxa del género *Inga* (Fabaceae).

Con estos antecedentes, se definieron como objetivos del presente estudio: conocer la importancia de la diversidad y estructura de los árboles que predominan como sombra asociados a *Coffea arabica*, y determinar la diversidad, los Índices de valor de importancia, densidad, dominancia y frecuencia relativa de la vegetación asociada.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio Huehuetán del estado de Chiapas, México que se ubica en la región Soconusco a 15°30'35" N y 92°24'27" O, a 35 msnm. El clima corresponde a un Am(w'')ig; es decir, cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 2 800 mm y la temperatura promedio de 28.5 °C. (García, 1973). Los suelos pertenecen a dos grupos principales: Acrisol y Luvisol (INEGI, 2005).

Sitios de muestreo

Se establecieron 10 unidades de muestreo (UM) al azar, arriba de la parte intermedia del municipio Huehuetán (de 80 a 540 msnm), donde predomina el cultivo del café (Figura 1). Cada sitio experimental o unidad de muestreo se denominó de acuerdo al nombre del ejido o el cantón (Cuadro 1). Dentro de cada uno, se separó un área de 1

000 m² (20 x 50 m), con base en lo recomendado por Cox (1981) y Somarriba (1999) para comunidades de árboles en sistemas agroforestales.

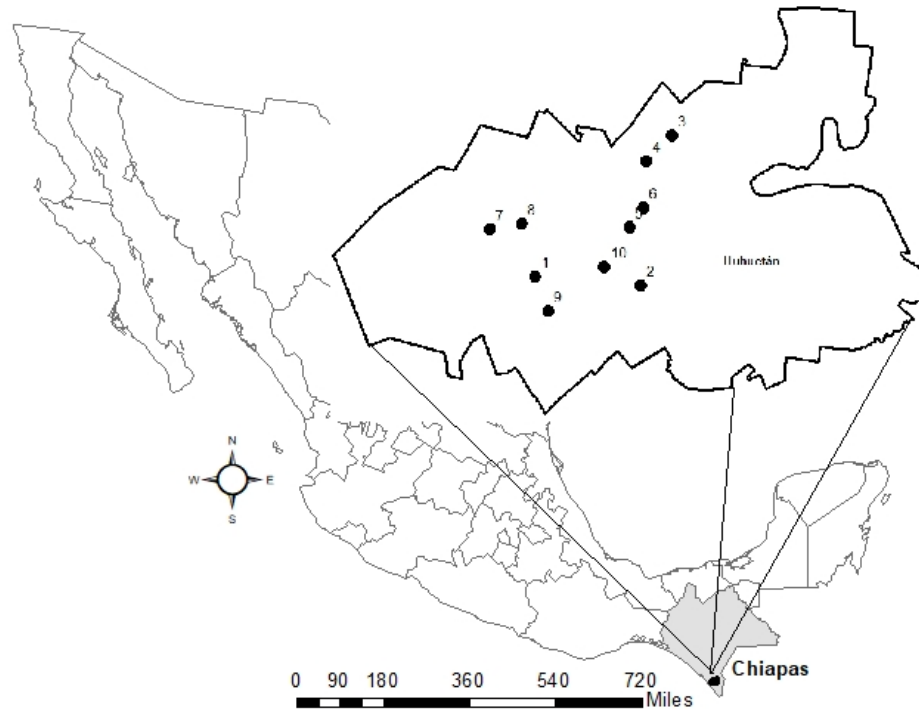


Figura 1. Ubicación de las localidades de muestreo.

Cuadro 1. Localidades de muestreo de la vegetación asociada al cultivo de *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas.

UM*	Localidad	Altitud (m)	Ubicación Geográfica	
			Longitud X	Latitud Y
1	Ejido Tepehuitz	520	92°28'19.63''	14°59'27.81''
2	Cantón El Búcaro	300	92°25'34.14''	14°59'14.64''
3	Ejido Santa Cecilia	320	92°24'43.83''	15°03'03.22''
4	Cantón La Estrella	150	92°25'24.23''	15°02'24.67''
5	Ejido Chamulapita	540	92°25'51.91''	15°00'43.05''
6	Cantón El Tivoli	220	92°25'29.59''	15°01'13.36''
7	Ejido Belisario Domínguez	315	92°29'30.76''	15°00'40.60''
8	Cantón El Caucho	190	92°28'41.16''	15°00'49.65''
9	Cantón El Cairo	240	92°27'59.72''	14°58'35.22''

10	Cantón Siria	80	92°26'31.22''	14°59'43.46''
----	--------------	----	---------------	---------------

*UM = Unidad de muestreo

Análisis de la estructura arbórea

Las especies arbóreas existentes en las UM se identificaron taxonómicamente, con nombre común, científico y familia, de acuerdo a lo descrito por Pennington y Sarukhán (2005).

La estratificación vertical se definió al medir la altura de todos los árboles presentes en las UM, desde la base del tallo hasta el ápice. Para tal fin se utilizó un altímetro *Haga (GmbH & Co D-90429, Germany)*.

El Índice de valor de importancia (*IVI*), según Curtis y McIntosh (1951), se refiere a la importancia de una o varias especies en términos de estructura física de una comunidad o de su composición de especies (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010), el cual refleja el porcentaje que tiene cada taxón en la comunidad.

$$\text{Valor de importancia} = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

Los valores de dominancia, densidad y frecuencia, así como los de valor de importancia por especie se obtuvieron con las siguientes ecuaciones (Stiling, 1999).

$$\text{Dominancia} = 0$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia por especie}}{\text{Dominancia total de todas las especies}} \times 100$$

El área basal (AB) de los árboles se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$\text{Área basal} = n \left[\frac{DAP^2}{4} \right]$$

Donde:

n = Número de árboles

DAP = Diámetro a la altura del pecho

La densidad se define como el número de individuos de una especie que ocupan un área determinada y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad de especies}}{\text{Densidad total de todas las especies}} \times 100$$

Para conocer cómo se distribuyen las especies se calculó la frecuencia, para ello se contabilizaron las unidades de muestreo donde se registraron:

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Número de parcelas en que está presente la especie}}{\text{Número total de parcelas muestreadas}}$$

El valor de frecuencia se interpreta como la probabilidad de encontrar una especie en cualquier unidad de muestreo de igual superficie escogida al azar. La frecuencia relativa se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Valor de frecuencia para una especie}}{\text{Total de los valores de frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

El Índice de Shannon-Wiener mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar de las unidades de muestreo (Somarriba, 1999).

La fórmula del índice de Shannon-Wiener es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln p_i$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

S = Número de especies

P_i = Proporción de los individuos de la especie i

\ln = Logaritmo natural

El Índice de Simpson mide la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Pielou, 1969).

La fórmula para calcular el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S ni(ni - 1)}{N (N - 1)}$$

Donde:

S = Número de especies

N = Total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n = Número de ejemplares por especie

Análisis de la información

A partir de la información obtenida en campo, se elaboraron tablas en Microsoft Office Excel ©2010 con el número de especies vegetales registradas en cada unidad de muestreo, en las cuales se calcularon los promedios para su análisis y discusión por cada sitio. Los índices de valor de Shannon-Wiener y Simpson se determinaron mediante el programa EstimateS (Colwell, 2005), porque permite analizar el número de especies vegetales para una superficie de muestreo específica.

La identificación de los árboles, inicialmente, se hizo a partir del nombre común en campo con el apoyo y conocimiento de los propietarios de las parcelas y de un técnico de la consultoría forestal. Para el registro e identificación taxonómica se

utilizaron los trabajos de Pennington y Sarukhan (2005) y Miranda (2015). La clasificación taxonómica se realizó de acuerdo con el sistema APG III.

Resultados y Discusión

Diversidad de especies arbóreas

Se identificaron 279 árboles, pertenecientes a 23 especies y 11 familias de la selva media perennifolia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies arbóreas presentes en el sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Número de árboles	Usos
Primavera	<i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose	Bignoniaceae	69	1
Chalum	<i>Inga micheliana</i> Harms.	Fabaceae	51	2
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae	34	1
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	32	1
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	20	2, 3
Chiche	<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Mull. Arg.	Apocynaceae	12	1
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	9	2, 3
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Bignoniaceae	8	1

Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	7	2, 3
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	6	2, 3
Zapote	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	Sapotaceae	5	3
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Rutaceae	4	2, 3
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	3	3
Caspirol	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Fabacea	3	2, 3
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Fabaceae	3	1
Paterno	<i>Inga paterno</i> Harms.	Fabaceae	3	2, 3
Yaite	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	Fabaceae	2	2
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	2	3
Casnicuil	<i>Inga jinicuil</i> Schlttdl. et Cham.	Fabaceae	2	2, 3
Chaperno	<i>Lonchocarpus</i> sp.	Fabacea	1	2, 3
Guagua	<i>Inga</i> sp.	Fabacea	1	2, 3
Palma	<i>Acrocomia</i> sp.	Arecaceae	1	3
Tamegüe	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) Nicholson	Bignoniaceae	1	1

Las especies más abundantes fueron *Tabebuia donnell smithii* Rose (maderable), *Inga micheliana* Harms. (leña), *Cordia alliodora* (Ruiz et Pavón) Oken (postes) y *Cedrela odorata* L. (maderable). Además se identificaron frutales como *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (naranja), *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (nance) y *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn (zapote). *Cedrela odorata* L., *Brosimum alicastrum* Sw., *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Tabebuia donnell smithii* son típicas de la selva mediana subperennifolia (Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003).

La presencia notable de *Inga* spp. en la región se ha consignada en otras regiones cafetaleras de México, como la Sierra Norte de Puebla donde Martínez *et al.* (2007)

determinaron que la sombra en los cafetales estaba compuesta por una sola especie, como *Inga* spp. (chalahuites), *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. (cuacuite) o *Alnus acuminata* Kunth (elite).

La UM con mayor número de taxones arbóreos (10) fue el número 4 (cantón La Estrella); le siguieron con nueve la UM 5 (ejido Chamulapita), UM 6 (cantón El Tívoli) y UM 10 (cantón Siria). La UM 9 (cantón El Cairo) tuvo cuatro especies arbóreas y fue el sitio con el registro más bajo. Del total de en las UM, en el cantón Siria (UM 10) se identificó la mayor cantidad de árboles maderables y frutales, con un total de 56. Ese sitio tiene la característica de localizarse a una menor altitud.

En cambio, en la UM 8 (cantón El Caucho), que también está a una baja altitud, con respecto a los ocho sitios restantes, se contabilizó la menor cantidad de árboles maderables y frutales (13); lo anterior sugiere la preferencia del productor por algunas especies.

La diferencia en el número de especies en las UM también puede relacionarse con la edad de las plantaciones de café. Las parcelas más antiguas registraron un incremento en la riqueza de árboles en relación a las plantaciones de café más jóvenes; de tal manera que en las mayores a 40 años, como la UM 4 (cantón La Estrella), se presentó un aumento en la diversidad arbórea. Además de la edad, puede influir el aislamiento; ya que esta UM es una comunidad alejada de áreas rurales donde predominan restos de selva.

Salvador-Morales *et al.* (2019) citan resultados similares, al estudiar sistemas agroforestales con *Theobroma cacao* L.; dichos autores señalan una mayor diversidad y estructura arbórea en las plantaciones superiores a 40 años de *T. cacao*, en comparación con las de menor edad.

Del total de las especies identificadas, la mayoría pertenece a las familias Fabaceae y Bignoniaceae, cuyos taxones se usan, principalmente, para leña y madera.

Estratificación vertical

La altura dominante de la vegetación en las UM fue en promedio de 20 m, pero se advirtieron ejemplares por arriba de los 25 m. Dentro del componente arbóreo se reconocieron tres estratos; en el superior se consideró a los árboles con altura de 18 a 27 m, se identificaron 19 individuos, con dominancia de *Tabebuia donnell smithii* (31.58 %). Los árboles de *Aspidosperma megalocarpon* Mull. Arg. representaron 21.05 % y los de *Inga laurina* (Sw.) Willd. 15.79 % del total de los individuos.

En el estrato medio se registró una altura promedio de 14 m en 167 individuos. Los árboles más comunes fueron *Tabebuia donnell smithii* (22.75 %), *Inga micheliana* Harms (22.15 %), *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (17.36 %), *Cedrela odorata* (14.97 %) y *Citrus sinensis* (10.17 %). Finalmente, en el estrato inferior con altura menor a 9 m se contabilizaron 93 árboles, de los cuales 26.88 % correspondió a *Tabebuia donnell smithii*, 15.05 % a *Inga micheliana*, 9.67 % a *Persea americana* y 7.52 % a *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Figura 2).

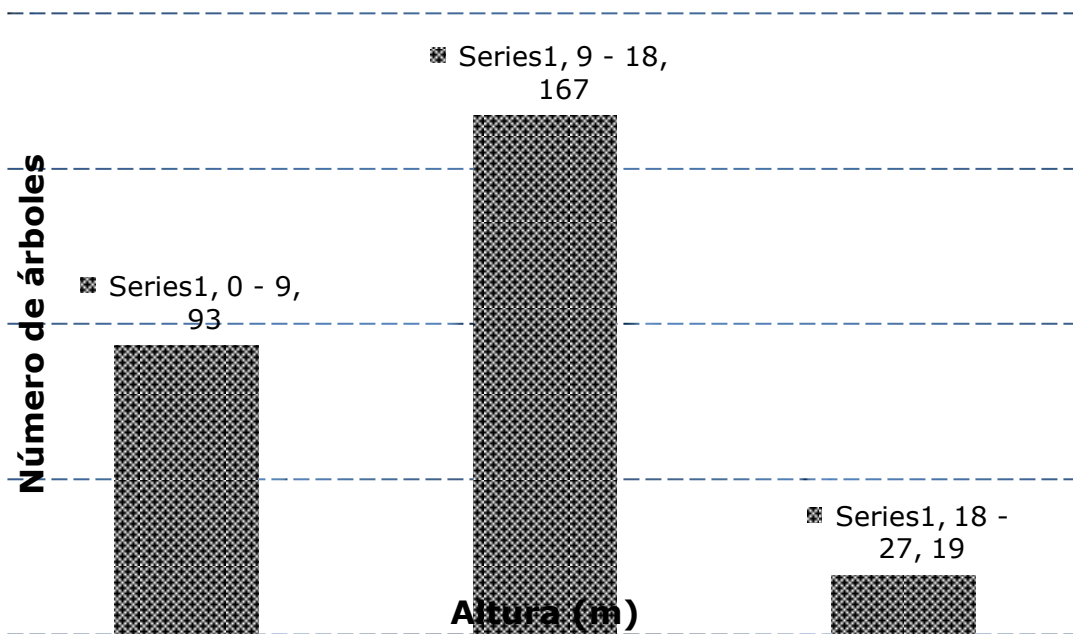


Figura 2. Estratificación vertical del componente arbóreo del sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas.

Los árboles maderables o frutales en el sistema de producción de café exhibieron mayor altura. Esta característica es posible relacionarla con el interés del productor de someterlos a prácticas culturales de poda y raleo, con el fin de favorecer la entrada de luz a la planta de café, y en consecuencia, disminuir o limitar el crecimiento de los árboles de sombra; además, se eliminan las especies sin importancia para el productor y se induce disminución de la diversidad.

Índice de valor de importancia (IVI)

Las especies con alto Índice de Valor de Importancia (*IVI*) en las UM fueron *Inga micheliana*, *Tabebuia donnell smithii*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A. DC. y *Cordia alliodora*. *Inga micheliana* estuvo presente en nueve UM. Otros taxones con valores altos de *IVI* fueron *Citrus sinensis* y *Aspidosperma megalocarpon*. *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn y *Persea americana* (Cuadro 3) tuvieron importancia estructural en las UM.

Cuadro 3. Especies con mayor índice de valor de importancia (*IVI*) en las unidades de muestreo (UM).

	Especie	Dominancia relativa	Densidad relativa	Frecuencia relativa	<i>IVI</i>
UM 1	1 <i>Inga micheliana</i> Harms.	42.08	46.15	20.93	109.17
	2 <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	32.23	23.07	16.28	71.58
	3 <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	9.76	11.54	13.95	35.25
	4 especies restantes	15.93	19.24	48.84	84.00
	Total	100	100	100	300
UM 2	1 <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	34.45	34.62	19.44	88.51
	2 <i>Inga micheliana</i> Harms.	32.72	19.22	25.00	76.95
	3 <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	7.10	23.08	19.44	49.62
	Dos especies restantes	25.73	23.08	36.12	84.92
	Total	100	100	100	300
UM 3	1 <i>Inga micheliana</i> Harms.	24.00	26.09	21.95	72.03
	2 <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	28.19	21.74	17.07	67.01

	3	<i>Cedrela odorata</i> L.	13.08	8.70	21.95	43.73
		Cuatro especies restantes	34.73	43.47	39.03	117.23
		Total	100	100	100	300
UM 4	1	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	26.07	28	3.85	57.92
	2	<i>Inga micheliana</i> Harms.	21.78	16	17.31	55.08
	3	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	15.93	12	13.46	41.39
		Siete especies restantes	36.22	44	65.38	145.61
		Total	100	100	100	300
UM 5	1	<i>Persea americana</i> Mill	51.57	29.63	5.41	86.61
	2	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	16.64	33.33	18.92	68.89
	3	<i>Inga micheliana</i> Harms.	15.74	11.11	24.32	51.18
		Seis especies restantes	16.05	25.93	51.35	93.32
		Total	100	100	100	300
UM 6	1	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	35.02	36	19.44	90.47
	2	<i>Cedrela odorata</i> L.	13.63	16	25.00	54.63
	3	<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Mull. Arg.	13.00	16	11.11	40.11
		Seis especies restantes	38.35	32	44.45	114.79
		Total	100	100	100	300
UM 7	1	<i>Inga micheliana</i> Harms.	15.16	24	20.45	59.62
	2	<i>Cedrela odorata</i> L.	18.41	12	20.45	50.86
	3	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	19.20	16	13.64	48.83
		Cinco especies restantes	47.23	48	45.46	140.69
		Total	100	100	100	300

UM 8	1	<i>Cedrela odorata</i> L.	59.61	38.50	31.03	129.11
	2	<i>Inga micheliana</i> Harms.	23.72	38.50	31.03	93.21
	3	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	3.97	7.70	24.14	35.80
		Dos especies restantes	12.70	15.30	13.80	41.88
		Total	100	100	100	300
UM 9	1	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	83.60	69.70	31.82	185.12
	2	<i>Inga micheliana</i> Harms.	13.40	24.30	40.91	78.55
	3	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	0.30	3.00	18.18	21.51
		Una especie restante	2.70	3.00	9.09	14.82
		Total	100	100	100	300
UM 10	1	<i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose	24.23	37.50	16.28	78.01
	2	<i>Cedrela odorata</i> L.	10.28	21.40	20.93	52.64
	3	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	23.49	8.90	13.95	46.37
		Seis especies restantes	42.00	32.20	48.84	122.98
		Total	100	100	100	300

En San Miguel, Veracruz Villavicencio-Enrriquez (2013) realizó el análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café y citó que *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Cordia alliodora* alcanzaron los valores más altos de importancia (*IVI*).

Aun cuando la presencia de especies propias de la selva mediana es evidente, todas las UM mostraron desbalance en su estructura arbórea. Magdaleno *et al.* (2005) para un sistema agroforestal de árboles en terrenos de cultivo en Vicente Guerrero, Tlaxcala indican que el número de especies que aportan 50 % o más del *IVI* en cada

parcela estudiada varió de nueve a 13 en el estrato bajo, de una a cuatro en el medio y de una a tres en el estrato alto.

Índice de *Shannon-Wiener*

El índice de *Shannon-Wiener* mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar de las UM. El valor obtenido promedio en las UM cafetaleras del Soconusco fue de 1.2, el cual se considera bajo en riqueza, al compararse con los de otras regiones cafetaleras en México como el caso de la comunidad Vicente Guerrero (Magdaleno *et al.*, 2005); ahí se calcularon valores de 3.55 a 3.89. Otros investigadores obtuvieron valores de 3.5 en la Sierra de Atoyac, Veracruz (García-Mayoral *et al.*, 2015). En la región cafetalera de Coatepec, Gómez-Martínez *et al.* (2018) registraron un índice de 8.3 en el sistema tradicional; 2.94 en Tuxtla Chico, Chiapas y de 2.71 en Tapachula, Chiapas (Roa-Romero *et al.*, 2009).

Zapata (2019) en un estudio de sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia documento a *Citrus sinensis*, *Calliandra pittieri* Standl., *Inga edulis* Mart. y *Cordia alliodora* como las especies de mayor importancia ecológica, lo cual se relacionó con las preferencias de los productores por esos taxones, debido a las interacciones biofísicas, ambientales o económicas favorables, cuando se asocian con el café. En este estudio se apreció que los productores han cambiado de las especies tradicionales de sombra por taxa maderables y frutales e incluso taxones introducidos, que en algún momento les redituará beneficios económicos.

Los resultados sugieren un manejo agronómico creciente en los sistemas agroforestales asociados a *C. arabica*, mediante más control de la vegetación nativa con un mayor aclareo que permita aumentar la radiación solar con fines fisiológicos. Así, se busca lograr incrementos en el rendimiento del cultivo de cafeto, además de disminuir los efectos de la roya del café; de manera concomitante, se pretende generar la posibilidad de aumentar la densidad de plantas de café, y en otros casos la de algunas especies de árboles de interés particular, lo que propicia una reducción en la diversidad arbórea.

Índice de Simpson

El índice de *Simpson* considera la dominancia de los taxones con más representatividad; es decir, a medida que el índice se incrementa, la diversidad disminuye (Pielou, 1969). Las especies predominantes en los cafetales fueron *Inga micheliana* y *Tabebuia donnell smithii*, las cuales tienen gran aceptación entre los productores; la primera (chalum) para leña y la segunda (primavera) por el alto valor comercial de su madera. El valor del Índice en el presente trabajo fue de 2.6.

Conclusiones

Las plantaciones de *Coffea arabica* con más edad cronológica presentan mayor diversidad, estructura arbórea, riqueza y de usos, con respecto a las plantaciones jóvenes.

Los estratos se categorizan en inferior (<9 m), medio (14 m) y superior (>18 m); las especies con más presencia en las UM son *Tabebuia donnell smithii*, *Inga micheliana*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata*.

De acuerdo con los índices de diversidad de *Simpson* y *Shannon*, la vegetación que prevalece tiene baja diversidad de especies arbóreas. El índice de Valor de Importancia más alto corresponde a *Inga micheliana* y *Tabebuia donnell smithii*.

Agradecimientos

El trabajo se realizó gracias al apoyo técnico del Despacho de Consultoría Forestal y Ambiental, S.C. (DECOFORES).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jorge Reyes Reyes: planteamiento, registro de datos y redacción del manuscrito; Juan Alberto Rodríguez Morales: análisis de la información, apoyo en campo y revisión del manuscrito; Dorian de Jesús Pimienta de la Torre: análisis de la información y correcciones del manuscrito; Mario Alonso Fuentes Pérez: revisión del manuscrito; Pablo Marroquín Morales: apoyo en campo y revisión del manuscrito; Agustín Merino García: revisión del documento; Juan Francisco Aguirre Medina: revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Aguirre-Cadena, J. F., J. Cadena-Iñiguez, B. Ramírez-Velarde, B. I. Trejo-Téllez, J. P. Juárez-Sánchez y F. J. Morales-Flores. 2016. Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. *Acta Universitaria* 26(1):30-38. Doi: [10.15174/au.2016.833](https://doi.org/10.15174/au.2016.833).
- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés, D. Parsons, A. Caamal-Maldonado, A. T. Piñeiro-Vázquez and V. Díaz-Echeverría. 2016. Environmental services from tropical agroforestry systems. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(3):269-284. Doi: [10.5154/r.rchscfa.2015.06.029](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029).
- Colwell, R. K. 2005. Estimaciones: estimación estadística de la riqueza de especies y especies compartidas a partir de muestras. Publicación de la aplicación y la guía del usuario de la versión 7.5. <https://purl.oclc.org/estimates> (21 de marzo del 2021).
- Cox, W. G. 1981. *Laboratory manual of general ecology*. William C. Brown Co. Publishers. IA, USA. 230 p.
- Curtis, H. and R. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border Region of Wisconsin. *Ecology* 32(3):476-496. Doi: <https://doi.org/10.2307/1931725>.
- Farfán, V. F. 2014. *Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia. 343 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 246 p.
- García-Mayoral, L. E., J. I. Valdez-Hernández, M. Luna-Cavazos y R. López-Morgado. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra

de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques* 21(3):69-82. Doi: [10.21829/myb.2015.213457](https://doi.org/10.21829/myb.2015.213457).

Geissert, D., A. Mólgora-Tapia, S. Negrete-Yankelevich y R. Hunter M. 2017. Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia* 51(2):119-133. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n2/1405-3195-agro-51-02-00119.pdf> (18 de abril del 2021).

Gómez-Martínez, M. J., G. Díaz-Padilla, F. Charbonnier, G. Sánchez-Viveros y C. R. Cerdán-Cabrera. 2018. Ensamblares arbóreos en sistemas agroforestales cafetaleros con diferente intensidad de manejo en Veracruz, México. *Revista de Ciencias Ambientales* 52(2):16-38. Doi: [10.15359/rca.52-2.2](https://doi.org/10.15359/rca.52-2.2).

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2005. Marco Geoestadístico Municipal, versión 3.1. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. México. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21158.pdf> (1 de marzo del 2017).

Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. Agroforestería básica. PNUMA-FAO. Red de Información Ambiental para América Latina y el Caribe. México D. F., México. 340 p.

López, M., J. M. P. Vázquez, R. Martínez, y M. A. López. 2013. Rentabilidad de fincas de café. In: R. López M., G. Díaz P. y A. Zamarripa C. (Eds.). *El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción*. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Cotaxtla, Ver., México. 462 p.

Magdaleno M., L., E. García M., J. I. Valdez-Hernández e V. de la Cruz I. 2005. Evaluación del sistema agroforestal "árboles en terrenos de cultivo", en Vicente Guerrero, Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(3):203-212. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61028304.pdf> (18 de abril del 2021).

Martínez, M. A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza y A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de*

Biodiversidad, 78(1):15-40.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v78n1/v78n1a3.pdf> (18 de abril del 2021).

Miranda, F. 2015. La vegetación de Chiapas. Ed. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. 686 p.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico jardines productivos. Biodiversitas 55:2-7.

<http://200.12.166.51/janium/Documentos/4697.pdf> (18 de abril de 2021).

Pielou, E. C. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience. New York, NY, USA. 400 p.

Pennington, T. D. y J. Sarukhan. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Ediciones Científicas Universitarias. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F., México. 523 p.

Pérez-Fernández, Y., M. V. González-Santiago, E. Escamilla-Robledo, A. Cruz-León, M. Rosas-Brugada y F. de J. Ruiz-Espinoza. 2016. Propuestas para la preservación de la vida en los cafetales en el municipio de Teocelo, Veracruz. Revista de Geografía Agrícola 57:7-16. Doi: 10.5154/r.rga.2016.57.007.

Pérez-Nieto, J., E. Valdés-Velarde y V. M. Ordaz-Chaparro. 2012. Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Terra Latinoamericana 30(3):249-259. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n3/2395-8030-tl-30-03-00249.pdf> (18 de abril del 2021).

Reyes-Reyes, J. y J. López-Upton. 2003. Crecimiento del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Arn.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del Soconusco, Chiapas. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2):137-142. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62913142005.pdf> (18 de abril del 2021).

Roa-Romero, H. A., M. G. Salgado-Mora y J. Álvarez-Herrera. 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas – México. *Acta Biológica Colombiana* 14(3):97-110. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/viewFile/12599/13199> (18 de abril de 2021).

Sáenz Reyes, J. T., J. A. González-Torres, J. Jiménez-Ochoa, A. Larios-Guzmán, M. Gallardo-Valdez, F. J. Villaseñor-Ramírez y C. Ibáñez-Reducindo. 2010. Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. Folleto Técnico Núm. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 52 p.

Salgado-Mora, M. G., C. Ruiz-Bello, J. L. Moreno-Martínez, B. Irena-Martínez y J. F. Aguirre-Medina. 2018. Captura de carbono en biomasa aérea de árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco Chiapas. *Agroproductividad* 11(2):120-126. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/136/114>

(11 de abril del 2021).

Salvador-Morales, P., L. del C. Cámara-Cabrales, J. L. Martínez-Sánchez, R. Sánchez-Hernández y E. Valdés-Velarde. 2019. Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y Bosques* 25(1):1-14. Doi: [10.21829/myb.2019.2511638](https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638).

Sánchez-Gutiérrez, F., J. Pérez-Flores, J. J. Obrador-Olan, A. Sol S. y O. Ruiz-Rosado. 2016. Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.* 14: 2695-2709. Doi: [10.29312/remexca.v0i14.439](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.439).

Somarriba, E. 1999. Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas* 6(23):72-74. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7586> (18 de abril del 2021).

Somarrriba, E. y J. Beer, J. 1999. Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6(22):1-5. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6816/Sistemas_agroforestales_con_cacao_en_Costa_Rica_Panama.pdf?sequence=1&isAllowed=y (18 de abril del 2021).

Stiling, P. 1999. *Ecology; Theories and Applications*. 3rd edition. Prentice Hall. NJ, USA. 840 p.

Villavicencio-Enríquez, L. 2013. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19:67-80. Doi: [10.5154/r.rchscfa.2010.08.051](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.051).

Villavicencio-Enríquez, L. y J. I. Valdez-Hernández. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37(4):413-423. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30237410.pdf> (18 de abril del 2021).

Zapata A., P. C. 2019. Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Florestal* 29(2):685-697. Doi: [10.5902/1980509827037](https://doi.org/10.5902/1980509827037).

Zarco-Espinosa, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26(1):1-17. <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf> (18 de abril del 2021).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.